

## Микротвёрдость стеклообразных $\text{AgGe}_{1-x}\text{As}_{1-x}\text{S}_3$ и композитов на их основе с содержанием углеродных нанотрубок

Зарубин Виктор Юрьевич

Мельникова Нина Владимировна

Институт естественных наук и математики Уральского федерального университета

Мельникова Нина Владимировна, к.ф.-м.н.

[Rus29081994@ya.ru](mailto:Rus29081994@ya.ru)

В последнее время большой практический интерес вызывают стеклообразные многокомпонентные халькогенидные материалы. Халькогенидные стекла обладают электронной и смешанной (электронно-ионной) проводимостью, прозрачностью в ИК-области спектра и другими интересными свойствами [1-3]. Отсутствие примесной проводимости, высокая фоточувствительность, химическая и радиационная стойкость обусловили широкое использование этих материалов в различных областях техники. Изучение атомной структуры стеклообразных халькогенидов и выявление связи структуры со свойствами позволит выбрать оптимальные условия их практического применения.

Один из методов исследования атомной структуры - изучение микротвёрдости. Цель данной работы - выявление влияния состава на микротвёрдость однородных стеклообразных ионных проводников  $\text{AgGe}_{1-x}\text{As}_{1-x}\text{S}_3$  и композитов на их основе с содержанием углеродных нанотрубок (УНТ или CNT – carbon nanotubes). Материалы являются практически стопроцентными ионными проводниками с проводимостью по ионам  $\text{Ag}^+$ .

Микротвёрдость образцов определена с помощью микротвердомера HVS-1000A с автоматической турелью и цифровым дисплеем. Принцип его работы идентичен принципу работы твердомера по методу Виккерса. Измерения производятся путем вдавливания алмазного индентора пирамидальной формы с определенным усилием в поверхность образца для измерений. После определенного времени под нагрузкой индентор поднимается, величина твердости рассчитывается по длине диагонали отпечатка и отражается на ЖК дисплее.

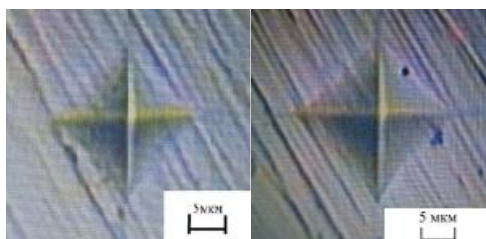


рис.1. Отпечатки индентора на поверхности образцов  $\text{AgGe}_{1.5}\text{As}_{0.5}(\text{S} + \text{CNT})_3$  (слева) и  $\text{AgGe}_{1.5}\text{As}_{0.5}\text{S}_3$  (справа)

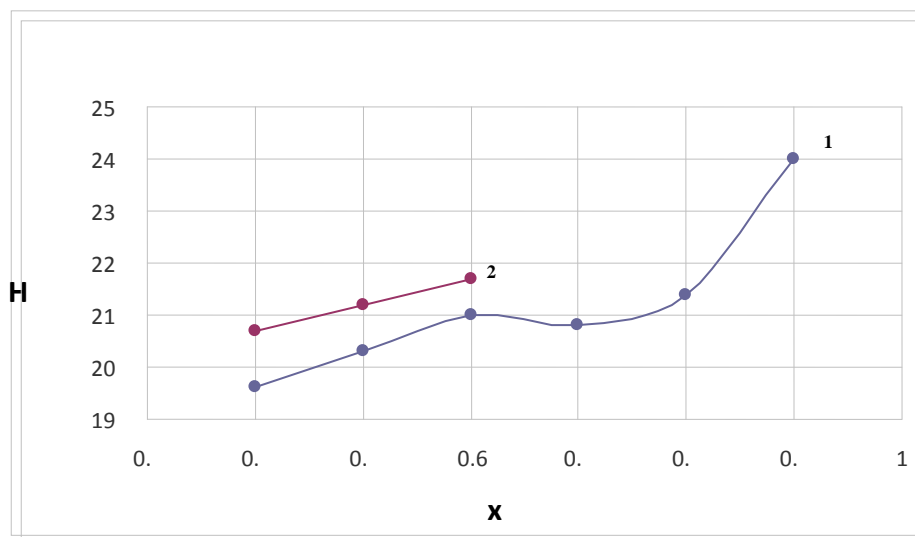


рис.2. Зависимости микротвердости от содержания Ge и As в  $\text{AgGe}_{1-x}\text{As}_{1-x}\text{S}_3$  (1) и  $\text{AgGe}_{1-x}\text{As}_{1-x}(\text{S} + \text{CNT})_3$  (2)

Исследования показали, что с ростом концентрации германия, в материалах как с УНТ, так и без УНТ, микротвёрдость увеличивается. Это согласуется с наличием высокоэнергетических связей Ge-S и свидетельствует об увеличении числа этих связей [4,5] с возрастанием x. В материалах, содержащих нанотрубки, по сравнению с материалами без нанотрубок, также наблюдается рост микротвёрдости.

Список публикаций:

- [1] Борисова З.У. Халькогенидные полупроводниковые стекла. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та. 1983. С. 344.  
[2] Борисова З.У. Химия стеклообразных полупроводников. – Изд-во Ленинградского ун-та. 1972. С. 248.  
[3] Tanaka K., Shimakawa K. *Amorph. Chalc. Semicond. And Related Mat.* NY:Springer. 2011.  
[4] Мельникова Н. В., Курочка К. В., Хейфец О. Л., Кадырова Н. И., Волкова Я. Ю. Атомная структура и ионная проводимость стеклообразных материалов на основе сульфида серебра // ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ. 2015. Т.79. № 6. С. 790–794.  
[5] Kurochka K.V., Melnikova N.V. Investigation of electrical properties of glassy  $\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_1-x(\text{S}+\text{CNT})_3$  ( $x = 0.4; 0.5; 0.6$ ) at temperature range from 10 to 300 K // *Solid State Ionics*. 2017. V.300. P. 53-59.

## Новая элементная база для нейроморфных вычислений

Исламов Дамир Ревинирович

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

[damir@isp.nsc.ru](mailto:damir@isp.nsc.ru)

Улучшения литографии в технологическом процессе производства полупроводниковых микросхем позволяли увеличивать число транзисторов экспоненциальными темпами. Впервые это заметил директор по НИОКР в «Fairchild Semiconductor» Гордон Мур. В 1965 году (через шесть лет после изобретения интегральной схемы) он написал внутренний доклад «Будущее интегральной электроники» с графиком, соединяющим 5 точек и связывающим число компонентов интегральных схем и их минимальную цену для периода 1959-1964 гг., и предсказанием развития на следующие 10 лет. Последнее основывалось на том, что число компонентов на кристалле будет продолжать удваиваться каждый год. 19 апреля 1965 г. отредактированная версия появилась в виде статьи в журнале «Electronics». [1]. Это наблюдение получило название – закон Мура.

В 1975 году на ежегодной встрече Международной Организации Инженеров-Электронщиков (IEEE) Гордон Мур, будучи президентом и исполнительным директором «Intel» указал, что увеличение диаметра пластин, успехи в технологических процессах и «поумнение схем и устройств» позволило продолжиться прогнозу. Впрочем, Мур скорректировал свою закономерность до удвоения степени интеграции каждые 2 года. Предсказание оказалось самоподдерживающимся: теперь Гордон Мур уже не наносит на свой график очередные достижения, зато многочисленные фирмы (и, конечно, сама «Intel») до сих пор стараются идти в ногу с прогрессией. В 1995 году, ещё раз публично проверяя своё предсказание, Мур сделал вывод, что оно «не скоро остановится».

Рисунок 1 иллюстрирует экспоненциальный рост производительности выпускаемых логических микросхем, нормированных на их стоимость. Если прост продолжится, после 2020 года производительность микропроцессоров должна достичь уровня мозга живого объекта, а к 2045 году превзойти ментальную производительность всего человечества на Земле. В связи с этим наиболее перспективным путём развития электроники видится внедрение новых физических принципов, например, нейроморфные вычисления.

Самый производительный суперкомпьютер в мире (по состоянию на июнь 2016 года) со скоростью вычислений 93 петафлопс Sunway TaihuLight в Национальном суперкомпьютерном центре города Уси (провинция Цзянсу, КНР) для работы требует 15,371 МВт электроэнергии (вместе с системой охлаждения – 28 МВт). Для сравнения человеческий мозг содержит  $10^{11}$  нейронов ( $\sim 10^6$  нейронов/ $\text{см}^2$ ) и  $10^{15}$  синапсов ( $\sim 10^{10}$  синапсов/ $\text{см}^2$ ), в пике активности потребляет 20 Вт. Характерная частота работы мозга 10 Гц. За счёт параллелизма взаимодействия синапсов мозг совершает  $10^{15} \times 10 \text{ Гц} = 10^{16}$  операций в секунду. Энергетический выигрыш при работе биологического объекта – мозга – по сравнению с самым мощным суперкомпьютером  $\sim 10^5$ . Мозг может за доли секунды быстро выполнять задачи, на которые компьютеру потребуются дни или даже месяцы. Среди таких задач можно отметить распознавание графических или звуковых образов.

Секрет такой разницы заключается в архитектуре. Современные вычислительные машины построены по архитектуре фон Неймана, принципа совместного хранения команд и данных в памяти вычислительной системы. Сами же вычисления проводятся в вычислительном модуле. Данные и инструкции из памяти передаются в вычислитель через шину, быстродействие которой и ограничивает вычислительные мощности компьютера. Архитектура мозга драматически отличается от архитектуры фон Неймана. Память и вычислитель здесь являются одними и теми же объектами – синапсами, местом соединения нейронов, составляющих мозг. Для передачи данных и инструкций в синаптический вычислитель какая-либо шина не нужна [2].